



DEMANDE INTERNATIONALE PUBLIÉE EN VERTU DU TRAITE DE COOPERATION EN MATIÈRE DE BREVETS (PCT)

(51) Classification internationale des brevets ⁷ : G06T 17/20	A1	(11) Numéro de publication internationale: WO 00/08604
		(43) Date de publication internationale: 17 février 2000 (17.02.00)
<p>(21) Numéro de la demande internationale: PCT/FR99/01924</p> <p>(22) Date de dépôt international: 3 août 1999 (03.08.99)</p> <p>(30) Données relatives à la priorité: 98/10097 3 août 1998 (03.08.98) FR</p> <p>(71) Déposants (pour tous les Etats désignés sauf US): FRANCE TELECOM [FR/FR]; 6, place d'Alleray, F-75015 Paris (FR). TELEDIFFUSION DE FRANCE [FR/FR]; 10, rue d'Oradour-sur-Glane, F-75732 Paris Cedex 15 (FR).</p> <p>(72) Inventeur; et (75) Inventeur/Déposant (US seulement): GIOIA, Patrick [FR/FR]; 32, rue Mirabeau 336 K, F-35700 Rennes (FR).</p> <p>(74) Mandataire: VIDON, Patrice; Cabinet Patrice Vidon, Immeuble Germanium, 80, avenue des Buttes de Coësmes, F-35700 Rennes (FR).</p>		<p>(81) Etats désignés: CA, JP, US, brevet européen (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE).</p> <p>Publiée Avec rapport de recherche internationale.</p>

(54) Title: SELECTIVE MESH REFINEMENT

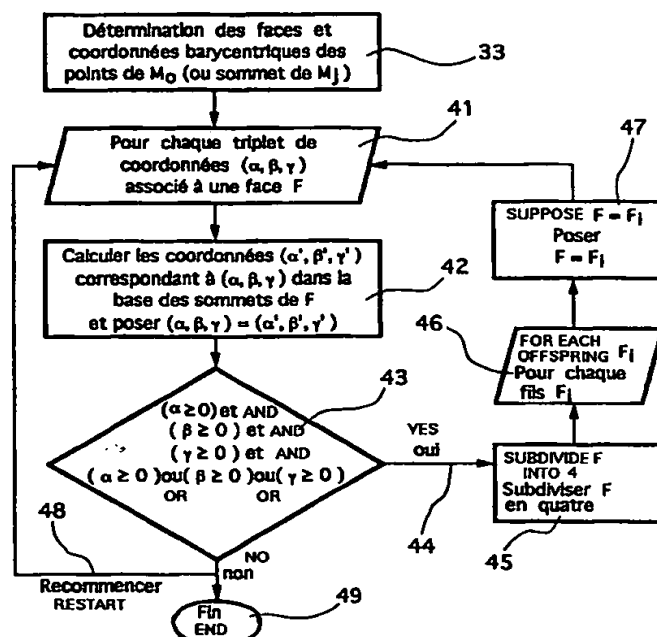
(54) Titre: AFFINEMENT SELECTIF DE MAILLES

(57) Abstract

The invention concerns a method for coding an original mesh (M) representing a three-dimensional object, which consists in determining a simple meshing (M_0) having a reduced number of defined faces each defined by vertices and edges, then coefficients in a wavelet base of a function (f) whereof said source mesh is the image defined on said simple mesh (M_0), so as to supply successive refined meshes (M_j). The method is characterised in that each of the faces of said meshes (M_j) is subdivided into a limited number of facets to form the higher level mesh (M_{j+1}), the subdivisions of said surface corresponding only to those required for observing an affinity condition of said function (f) on said face. The invention also concerns the corresponding method for reconstructing the mesh.

(57) Abrégé

L'invention concerne un procédé de codage d'un maillage source (M) représentatif d'un objet en trois dimensions, dans lequel on détermine un maillage simple (M_0) présentant un nombre réduit de faces définies chacune par des sommets et des arêtes, puis des coefficients dans une base d'ondelettes d'une fonction (f) dont ledit maillage source est l'image définie sur ledit maillage simple (M_0), de façon à fournir des maillages affinés successifs (M_j). Selon ce procédé, chacune des faces d'un desdits maillages (M_j) est subdivisée en un nombre limité de facettes pour former le maillage de niveau supérieur (M_{j+1}), les subdivisions de ladite face correspondant uniquement à celles nécessaires pour respecter une condition d'affinité de ladite fonction (f) sur ladite face. L'invention concerne également le procédé correspondant de reconstruction du maillage.



33...DETERMINING BARYCENTRIC SURFACES AND COORDINATES OF POINTS OF M_0 (OR PEAK OF M_j)

41...FOR EACH TRIPLET OF COORDINATES (α, β, γ) ASSOCIATED WITH A SURFACE F

42...CALCULATE COORDINATES $(\alpha', \beta', \gamma')$ CORRESPONDING TO (α, β, γ) IN THE BASE OF VERTICES OF F AND SUPPOSE $(\alpha, \beta, \gamma) = (\alpha', \beta', \gamma')$

UNIQUEMENT A TITRE D'INFORMATION

Codes utilisés pour identifier les Etats parties au PCT, sur les pages de couverture des brochures publiant des demandes internationales en vertu du PCT.

AL	Albanie	ES	Espagne	LS	Lesotho	SI	Slovénie
AM	Arménie	FI	Finlande	LT	Lituanie	SK	Slovaquie
AT	Autriche	FR	France	LU	Luxembourg	SN	Sénégal
AU	Australie	GA	Gabon	LV	Lettonie	SZ	Swaziland
AZ	Azerbaïdjan	GB	Royaume-Uni	MC	Monaco	TD	Tchad
BA	Bosnie-Herzégovine	GE	Géorgie	MD	République de Moldova	TG	Togo
BB	Barbade	GH	Ghana	MG	Madagascar	TJ	Tadjikistan
BE	Belgique	GN	Guinée	MK	Ex-République yougoslave	TM	Turkménistan
BF	Burkina Faso	GR	Grèce		de Macédoine	TR	Turquie
BG	Bulgarie	HU	Hongrie	ML	Mali	TT	Trinité-et-Tobago
BJ	Bénin	IE	Irlande	MN	Mongolie	UA	Ukraine
BR	Bésil	IL	Israël	MR	Mauritanie	UG	Ouganda
BY	Bélarus	IS	Islande	MW	Malawi	US	Etats-Unis d'Amérique
CA	Canada	IT	Italie	MX	Mexique	UZ	Ouzbékistan
CF	République centrafricaine	JP	Japon	NE	Niger	VN	Viet Nam
CG	Congo	KE	Kenya	NL	Pays-Bas	YU	Yougoslavie
CH	Suisse	KG	Kirghizistan	NO	Norvège	ZW	Zimbabwe
CI	Côte d'Ivoire	KP	République populaire démocratique de Corée	NZ	Nouvelle-Zélande		
CM	Cameroun	KR	République de Corée	PL	Pologne		
CN	Chine	KZ	Kazakhstan	PT	Portugal		
CU	Cuba	LC	Sainte-Lucie	RO	Roumanie		
CZ	République tchèque	LI	Liechtenstein	RU	Fédération de Russie		
DE	Allemagne	LK	Sri Lanka	SD	Soudan		
DK	Danemark	LR	Libéria	SE	Suède		
EE	Estonie			SG	Singapour		

AFFINEMENT SELECTIF DE MAILLES

Le domaine de l'invention est celui du codage d'images ou d'éléments d'images. Plus précisément, l'invention concerne la représentation et le codage adaptatifs de scènes (ou d'objets d'une scène) en trois dimensions (3D) représentées par des maillages.

L'invention trouve des applications dans tous les domaines où il est souhaitable de réduire le nombre d'informations nécessaires pour représenter efficacement une image numérique, pour la stocker et/ou la transmettre. Par exemple, l'invention peut être utilisée pour la transmission d'images via le réseau Internet. Dans ce cadre, elle permet l'animation de scènes 3D avec une visualisation en temps réel, bien que le débit ne soit pas constant ni garanti. L'invention peut, dans ce cas, être une primitive d'un langage de transmission de données tel que VRML.

Parmi les autres applications envisageables, on peut citer le stockage de données animées sur CD-ROM (ou support de données équivalent), les applications multi-utilisateurs, la télévision numérique,...

L'invention propose une amélioration aux méthodes dites "à ondelettes", qui permettent de représenter un maillage comme une succession de détails ajoutés à un maillage de base. La théorie générale de cette technique est notamment décrite dans l'article de M. Lounsberry, T. DeRose et J. Warren, "Multiresolution analysis for surfaces of arbitrary topological type" (ACM Transaction on Graphics, Vol.16, No. 1, pp.34-73).

Selon cette technique, un maillage est donc représenté par une suite de coefficients qui correspondent aux coordonnées dans une base d'ondelettes d'une paramétrisation dudit maillage par un polyèdre simple. Les principes mathématiques correspondants sont rappelés en annexe (cette annexe fait partie de la présente description).

En pratique, lors de la reconstruction, le maillage de base M_0 est représenté sous une forme arborescente : chacune de ses faces est la racine d'un arbre dont

les fils de chaque noeud sont les quatre faces obtenues après subdivision canonique. Les coefficients d'ondelettes sont indexés par leurs coordonnées barycentriques sur une face de M_0 .

5 Une technique de subdivision a été proposée par A. Certain, Jovan Popovic, T. DeRose, T. Duchamp, D. Salesin et W. Stuetzle, dans l'article "Interactive multiresolution surface viewing" (Computer Graphics Proceedings 1996).

10 Cette technique consiste à opérer des subdivisions en observant une condition suffisante sur les sommets : un sommet est dit complet s'il est au milieu d'une arête partagée par deux faces qui sont subdivisées en quatre, ainsi que cela est illustré en figure 1.

15 Le principe est de partir du sommet indexant le coefficient d'ondelette considéré et de rendre complet, par subdivision, ses voisins, puis les voisins de ses voisins, récursivement jusqu'à ce que tous les sommets considérés soient complets. Cette règle provient de l'observation que cet algorithme est suffisant pour assurer une subdivision adaptée aux modifications apportées par le coefficient d'ondelette considéré.

20 Cette technique présente cependant un inconvénient important : elle induit la création de facettes inutiles, ce qui entraine une augmentation inutile du nombre des données nécessaires à la description du maillage. Plus précisément, des facettes inutiles sont créées par des subdivisions assurant la complétude des sommets évoqués plus haut.

25 En d'autres termes, il y a création, dans des zones relativement éloignées du support de l'ondelette considérée, de facette coplanaires, ce qui nuit inutilement à l'efficacité de la visualisation de l'objet.

On sait en effet que le nombre de données (et donc le nombre de facettes à des conséquences importantes, notamment lorsque l'objet concerné est animé, que la puissance du terminal est limitée et/ou que le débit de transmission est variable et/ou limité.

30 L'invention a notamment pour objectif de pallier ces inconvénients de l'état

de l'art.

Plus précisément, un objectif de l'invention est de fournir un procédé de codage d'un maillage représentatif d'un objet en trois dimensions, qui produise un nombre de facettes restreint, par rapport à la technique connue, pour un niveau de
5 qualité de restitution identique ou similaire.

Un autre objectif de l'invention est de fournir un tel procédé de codage, dont la complexité (notamment en termes de nombre d'opérations effectuées et de capacité de mémoire nécessaire) soit inférieure, ou à tout le moins, du même ordre de grandeur, aux techniques connues.

10 L'invention a également pour objectif de fournir un tel procédé de codage, permettant de disposer de plusieurs niveaux de qualité de restitution de l'objet, en fonction de critères divers (capacité de traitement du terminal, capacité des moyens de mémorisation disponible, débit de transmission, besoins de l'utilisateur...).

Encore un autre objectif de l'invention est de fournir un tel procédé de
15 codage, permettant une reconstruction progressive de l'objet.

L'invention a également pour objectif, bien sûr, de fournir un procédé de reconstruction d'un objet codé selon ce procédé de codage.

Ces objectifs, ainsi que d'autres qui apparaîtront par la suite, sont atteints selon l'invention à l'aide d'un procédé de codage d'un maillage source (M)
20 représentatif d'un objet en trois dimensions, dans lequel on détermine un maillage simple (M_0) présentant un nombre réduit de faces définies chacune par des sommets et des arêtes, puis des coefficients dans une base d'ondelettes d'une fonction (f) dont ledit maillage source est l'image définie sur ledit maillage simple (M_0), de façon à fournir une décomposition dudit maillage source (M) en des
25 maillages (ou sous-maillages) affinés successifs (M_j), selon un critère prédéterminé. Selon l'invention, chacune des faces d'un desdits maillages (M_j) est subdivisée en un nombre limité de facettes pour former le maillage de niveau supérieur (M_{j+1}), les subdivisions de ladite face correspondant uniquement à celles nécessaires pour respecter une condition d'affinité de ladite fonction (f) sur ladite

face.

L'inventeur a en effet observé que la prise en compte d'un coefficient d'ondelette doit s'accompagner d'une subdivision locale au voisinage du sommet indexant l'ondelette en question, afin que cette dernière soit affine par morceaux sur chaque facette. Puisque les ondelettes sont des sommes de fonctions ϕ_i^j , il suffit de savoir localiser le support d'une telle fonction et de subdiviser localement les facettes qui les contiennent jusqu'à ce que cette fonction soit affine sur chaque facette résultante.

On notera que l'on utilise indifféremment, par la suite, les termes "face" et "facette". En général, une "facette" correspond à une subdivision d'une "face".

Avantageusement, ledit maillage source (M) est décomposé en un ensemble d'arbres, chacun desdits arbres représentant une face dudit maillage simple (M_0) et comprenant des noeuds représentant chacun une face d'un maillage (M_j), ladite fonction (f) étant affine sur chacun desdites faces. Alors, chacun desdits arbres est le plus petit tel que, lorsqu'une face donnée est subdivisée en quatre facettes, le noeud correspondant comprend quatre fils représentant lesdites quatre facettes.

De façon avantageuse, le procédé de l'invention permet l'accès à plusieurs niveaux de qualité de codage, correspondant à chacun desdits maillages successifs.

Cela est aisé, du fait de la structure même des subdivisions, comme cela apparaîtra par la suite.

De façon préférentielle, lesdits maillages successifs sont obtenus par la mise en oeuvre d'un algorithme récursif. Le procédé est ainsi particulièrement simple à mettre en oeuvre.

Selon un mode de réalisation avantageux, ledit algorithme récursif comprend les étapes suivantes :

- (a) réception d'un coefficient d'ondelette indexé par un sommet (s) de coordonnées barycentriques (α, β, γ) sur une face F_0 ;

(b) pour chaque face voisine F_i de F_0 contenant ledit sommet (s) :

- on pose $F = F_i$;
- on déduit des coordonnées barycentriques (α , β , γ) les coordonnées dudit sommet (s) dans la base affine formée des sommets de la face F , encore notées (α , β , γ) ;
- si les coordonnées α , β ou γ sont positives ou nulles et si deux d'entre elles sont strictement positives :
 - on subdivise la face F ;
 - on reprend le traitement à l'étape (b), pour les quatre fils de la face F successivement.

L'invention concerne également un procédé de reconstruction d'un maillage source (M) représentatif d'un objet en trois dimensions et codé selon le procédé de codage décrit ci-dessus.

Avantageusement, un tel procédé de reconstruction assure la reconstruction progressive dudit objet, à partir du maillage simple (M_0) puis à l'aide des maillages successifs (M_i).

De façon préférentielle, ce procédé de reconstruction permet l'accès à plusieurs niveaux de qualité de codage, correspondant à chacun desdits maillages successifs.

L'invention s'applique avantageusement à de nombreux domaines, et peut notamment s'appliquer à au moins un des domaines suivants :

- affichage d'objets maillés en trois dimensions sur un écran ;
- affichage progressif d'objets maillés en trois dimensions sur un écran, lesdits coefficients d'ondelettes étant pris en compte au fur et à mesure de leur arrivée ;
- affichage d'objets maillés en trois dimensions sur un écran à au moins deux niveaux de détail, un niveau de détail correspondant à un desdits maillages successifs (M_i) ;

- affichage de parties différentes d'un objet maillé avec au moins deux niveaux de détail différents ;
- compression d'un maillage d'un objet maillé.

D'autres caractéristiques et avantages de l'invention apparaîtront plus clairement à la lecture de la description suivante d'un mode de réalisation préférentiel de l'invention, donné à titre de simple exemple illustratif et non limitatif, et des dessins annexés, parmi lesquels :

- la figure 1, déjà commentée en préambule, illustre un sommet complet, selon la technique de Certain et Al. ;
- la figure 2 illustre le voisinage direct d'un sommet s , selon l'invention ;
- la figure 3 est un schéma synoptique général simplifié du procédé de codage selon l'invention ;
- la figure 4 est un schéma synoptique plus détaillé, reprenant et détaillant les étapes de localisation et de subdivision de la figure 3.

Le procédé de codage d'un maillage selon l'invention vise donc, notamment, à opérer le nombre minimum de subdivisions nécessaires tout en restant de même complexité algorithmique que la technique connue.

Dans toute la suite, on dira qu'un point s a pour coordonnées barycentriques (α, β, γ) , sur une face F_0 si ses coordonnées barycentriques dans la base affine formée des sommets de F_0 sont (α, β, γ) . On omettra aussi de préciser M_0 lorsqu'il n'y aura pas de confusion possible.

L'algorithme de base de l'invention, indépendant de toute implémentation, est le suivant :

1. Recevoir un coefficient d'ondelette indexé par un sommet s de coordonnées barycentriques (α, β, γ) , sur une face F_0 .
2. Pour chaque face voisine F_i de F_0 contenant s :

- (a) $F = F_i$
- (b) Déduire de (α, β, γ) les coordonnées de s dans la base affine formée des sommets de F , encore notés (α, β, γ) .
- (c) Si α ou β ou γ sont tous positifs ou nuls et deux d'entre eux sont strictement positifs
 - i. Subdiviser F
 - ii. Recommencer en (b) avec pour F ses quatre fils successivement

5

10 A l'arrêt de l'algorithme, on dispose d'une subdivision minimale de M_0 obtenue avec une complexité en temps linéaire par rapport au degré de subdivision. Le débit de transmission et/ou la capacité de stockage nécessaires sont donc optimisés.

15 Il convient de noter que l'invention permet de déterminer non seulement l'arbre minimal correspondant à f , mais aussi à chacune de ses approximations, en tronquant la somme (voir l'annexe) :

$$f = \sum_i c_i^0 \phi_i^0 + \sum_{j \geq 0} \sum_i d_i^j \psi_i^j$$

Cette somme étant justement obtenue de façon progressive, en ajoutant des termes successivement, on passe d'un arbre représentant une approximation f_i à un arbre représentant :

20

$$f_i + c_i^j \psi_i^j$$

(où c_i^j est un coefficient d'ondelette transmis en n'effectuant que les subdivisions de facettes strictement nécessaire à la condition d'affinité sur chaque face.

Il est ainsi possible de reconstruire progressivement l'objet, et/ou de choisir un niveau de qualité (correspondant à l'indice j).

25

On peut représenter le maillage progressivement reconstruit comme n 4-arbres décrivant les divisions successives des n faces du maillage M_0 transmis

préalablement aux coefficients d'ondelettes. Chaque coefficient d'ondelette reçu est accompagné de trois entiers A, B et C proportionnels aux coordonnées barycentriques du sommet s indexant l'ondelette associée au coefficient, ainsi que d'un tiers désignant la face F_0 indiquant une facette contenant s.

- 5 Si s appartient à M_{j+1} , A, B et C sont déduits des coordonnées barycentriques α, β et γ de s dans la base affine formée des sommets de F_0 par :

$$(A, B, C) = 2^{j+1} (\alpha, \beta, \gamma)$$

L'ondelette centrée en s est de la forme :

$$\psi_i^j = \phi_i^{j+1} + \sum_{k \in D} \alpha_k \phi_k^j$$

- 10 où D est un voisinage de s sur le maillage M_j . La technique exposée dans la partie précédente doit donc être appliquée à chacune des fonctions qui apparaissent dans cette somme, avec leurs coordonnées barycentriques respectives.

- 15 Ces coordonnées barycentriques sont exprimées dans la même base affine que celles de s, et déduites de ces dernières : le voisinage D est, pour un k fixé, l'ensemble des sommets de M_j distants d'au plus k arêtes de l'une des extrémités s_1 et s_2 de l'arête de M_j contenant s, ainsi que cela est illustré en figure 2. Les coordonnées barycentriques de ces deux sommets sont caractérisées par le critère suivant :

- 20 Le triplet $(\alpha', \beta', \gamma')$ représente les coordonnées de l'un de ces deux points si et seulement si le triplet d'entiers $(A', B', C') = 2^j (\alpha', \beta', \gamma')$ vérifie :

$$(2A' - A, 2B' - B, 2C' - C) \in \varepsilon,$$

où ε désigne l'ensemble :

$$\{(1, -1, 0), (-1, 1, 0), (1, 0, 1), (-1, 0, 1), (0, 1, -1), (0, -1, 1)\}$$

- 25 Ces deux voisins directs de s, s_1 et s_2 , étant déterminés, les autres sont

déterminés en appliquant k fois le critère suivant :

soient u et v deux sommets de coordonnées barycentriques $(\alpha', \beta', \gamma')$ et $(\alpha'', \beta'', \gamma'')$ respectivement, sur une face F. Alors u et v sont reliés par une arête sur M_j si et seulement si :

$$2^j(\alpha' - \alpha'', \beta' - \beta'', \gamma' - \gamma'') \in \varepsilon,$$

ce qui donne explicitement la liste des sommets dans le voisinage D.

Chacun de ces sommets, muni de ses coordonnées barycentriques (α, β, γ) , peut ainsi donner lieu aux subdivisions nécessaires aux modifications apportées par la fonction ϕ_i^j correspondante, selon une variante de l'algorithme

décrit plus haut : on part du couple $(A, B, C) = 2^j(\alpha, \beta, \gamma)$ où j est le plus petit entier tel que A, B et C soient entiers, et on applique à chaque subdivision la matrice de changement de base à ce triplet, de telle sorte que l'on ne fait des tests de positivité que sur des entiers.

Les quatre matrices de passage de la base affine représentée par les trois sommets d'une face aux bases affines représentées par les trois sommets de chacun des fils sont explicitement :

$$\begin{pmatrix} 1 & -1 & -1 \\ 0 & 2 & 0 \\ 0 & 1 & 2 \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} 2 & 0 & 0 \\ -1 & 1 & -1 \\ 0 & 0 & 2 \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} 2 & 0 & 0 \\ 0 & 2 & 0 \\ -1 & -1 & 1 \end{pmatrix} \text{ et } \begin{pmatrix} 1 & 1 & -1 \\ -1 & 1 & 1 \\ 1 & -1 & 1 \end{pmatrix}$$

Le procédé décrit ci-dessus est illustré, de façon très simplifiée, en figure 3. Pour chaque coefficient d'ondelette D_i^j reçu (31), on effectue une étape de localisation 32, dans laquelle on ramène les éléments à traiter dans la base affine adéquate, puis une étape de subdivision (33) de chaque face considérée.

Un exemple plus détaillé de mise en oeuvre de ces deux dernières étapes 32 et 33 est illustré en figure 4.

La localisation 32 consiste à, ψ_i^j s'écrivant comme une somme pondérée de fonctions d'échelle au niveau $j+1$, déterminer les faces et les coordonnées barycentriques des points de M_0 (ou sommets de M_j) indexant ces fonctions d'échelle.

5 Ensuite, pour chaque triplet de coordonnées (α, β, γ) associé à une face F (41), on calcule (42) les coordonnées $(\alpha', \beta'$ et $\gamma')$ correspondant à (α, β, γ) dans la base des sommets de F et on pose $(\alpha, \beta, \gamma) = (\alpha', \beta'$ et $\gamma')$.

On effectue alors le test 43 :

$$(\alpha \geq 0) \text{ et } (\beta \geq 0) \text{ et } (\gamma \geq 0) \text{ et } ((\alpha \beta > 0) \text{ ou } (\alpha \gamma > 0) \text{ ou } (\beta \gamma > 0))$$

10 Si le résultat est positif (44), on effectue une boucle de récursivité consistant à subdiviser (45) la face F en quatre fils F_i , puis, pour chaque fils F_i (46), poser $F = F_i$ (47) et reprendre au niveau de l'étape 41, de façon récursive.

15 Si le résultat du test 43 est négatif, on reprend (48) le traitement pour une nouvelle face F (41). Lorsque toutes les faces F ont été traitées, la subdivision est terminée (49).

ANNEXE

Une surface S dans l'espace peut être représentée comme l'image d'une fonction continue injective définie sur un polyèdre M_0 de même type topologique et à valeurs dans \mathbf{R}^3 . On dit alors que la surface est paramétrée par le polyèdre, et l'on appelle paramétrisation la dite fonction. Cette fonction est un triplet de fonctions à valeurs dans \mathbf{R} , qui peuvent chacune être développées dans une base de l'espace $C^0(M_0)$ des fonctions continues sur le polyèdre à valeurs dans \mathbf{R} .

Dans le cas des surfaces maillées, on utilise cette technique pour obtenir une représentation compressée du maillage. En outre, l'utilisation d'ondelettes comme fonctions de base en permet une représentation progressive, de la forme la plus grossière à la plus détaillée.

Ces fonctions ne sont pas des ondelettes au sens classique, mais satisfont des relations de raffinement généralisant le concept d'analyse multirésolution : notons M_0 un polyèdre sur lequel est défini une paramétrisation d'une surface M . On considère le sous-espace S_0 de $C^0(M_0)$ engendré par les fonctions ϕ_i^0 définies comme suit : ϕ_i est affine sur chaque facette, vaut 1 sur le i -ème sommet et 0 sur tous les autres.

On définit de la même façon les sous-espaces S_j engendrés par les fonctions ϕ_i^j définies de la même manière mais en remplaçant M_0 par le maillage M_j obtenu en subdivisant canoniquement chaque facettes de M_{j-1} . Les espaces S_j sont de dimension finie, emboîtés, S_0 étant le plus petit, et toute fonction continue de M_0 dans \mathbf{R} peut être approchée uniformément par une fonction d'un S_j pour j assez grand.

C'est cette inclusion qui permet le codage progressif : si on note W_j un supplémentaire de S_j dans S_{j+1} , et $\{\psi_i^j\}_i$ (les ondelettes) une base de W_j , l'ensemble

$$\{\phi_i^0\}_i \cup \bigcup_{j \geq 0} \{\psi_i^j\}_i$$

forme une base de $C^0(M_0)$. La fonction ρ paramétrant M s'écrit donc de manière unique

$$\rho = \sum_i c_i \phi_i^0 + \sum_{j \geq 0} \sum_i d_i^j \psi_i^j,$$

5 où les c_i et les d_i^j sont dans \mathbf{R}^3 , et sont appelés coefficients d'ondelettes.

En pratique, les ondelettes sont choisies de telle sorte que leur support permette une détermination des coefficients d'ondelettes en $O(n)$, où n est le nombre de sommets du maillage M : pour k entier fixé, si on note $D_{k,i}$ l'ensemble des indices des sommets d'un maillage M_j qui sont à moins de k arêtes de distance du sommet i , l'ondelette ψ_i^j est donnée par

$$\psi_i^j = \phi_i^{j+1} + \sum_{l \in D_{k,i}} \alpha_l \phi_l^j,$$

de telle sorte que ψ_i^j soit à support dans $D_{k+1,i}$.

10 Ainsi, lors de la reconstruction, l'influence d'un coefficient d'ondelette est limitée à un tel voisinage.

REVENDICATIONS

1. Procédé de codage d'un maillage source (M) représentatif d'un objet en trois dimensions, dans lequel on détermine un maillage simple (M_0) présentant un nombre réduit de faces définies chacune par des sommets et des arêtes, puis des coefficients dans une base d'ondelettes d'une fonction (f) dont ledit maillage source est l'image définie sur ledit maillage simple (M_0), de façon à fournir une décomposition dudit maillage source (M) en des maillages affinés successifs (M_j), selon un critère prédéterminé, caractérisé en ce que chacune des faces d'un desdits maillages (M_j) est subdivisée en un nombre limité de facettes pour former le maillage de niveau supérieur (M_{j+1}), les subdivisions de ladite face correspondant uniquement à celles nécessaires pour respecter une condition d'affinité de ladite fonction (f) sur ladite face.
2. Procédé de codage selon la revendication 1, caractérisé en ce que ledit maillage source (M) est décomposé en un ensemble d'arbres, chacun desdits arbres représentant une face dudit maillage simple (M_0) et comprenant des noeuds représentant chacun une face d'un maillage (M_j), ladite fonction (f) étant affine sur chacun desdites faces, et chacun desdits arbres étant le plus petit tel que, lorsqu'une face donnée est subdivisée en quatre facettes, le noeud correspondant comprend quatre fils représentant lesdites quatre facettes.
3. Procédé de codage selon l'une quelconque des revendications 1 et 2, caractérisé en ce qu'il permet l'accès à plusieurs niveaux de qualité de codage, correspondant à chacun desdits maillages successifs.
4. Procédé de codage selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, caractérisé en ce que lesdits maillages successifs sont obtenus par la mise en oeuvre d'un algorithme récursif.
5. Procédé de codage selon l'une quelconque des revendications 1 à 4, caractérisé en ce que ledit algorithme récursif comprend les étapes suivantes :

- (a) réception (31) d'un coefficient d'ondelette indexé par un sommet (s) de coordonnées barycentriques (α, β, γ) sur une face F_0 ;
- (b) pour chaque face voisine (47) F_i de F_0 contenant ledit sommet (s) :

5

- on pose $F = F_i$;
- on déduit des coordonnées barycentriques (α, β, γ) les coordonnées dudit sommet (s) dans la base affine (42) formée des sommets de la face F, encore notées (α, β, γ) ;
- si les coordonnées α, β ou γ sont positives ou nulles et si deux d'entre elles sont strictement positives (43) :
 - on subdivise la face F (45) ;
 - on reprend le traitement à l'étape (b), pour les quatre fils de la face F successivement.

10

15

6. Procédé de reconstruction d'un maillage source (M) représentatif d'un objet en trois dimensions et codé selon le procédé de codage de la revendication 1, caractérisé en ce que ledit objet est reconstruit progressivement, à partir du maillage simple (M_0) puis à l'aide des maillages successifs (M_i).

20

7. Procédé de reconstruction selon la revendication 6, caractérisé en ce qu'il permet l'accès à plusieurs niveaux de qualité de codage, correspondant à chacun desdits maillages successifs.

25

8. Application du procédé de codage selon l'une quelconque des revendications 1 à 5 à au moins un des domaines suivants :

- affichage d'objets maillés en trois dimensions sur un écran ;
- affichage progressif d'objets maillés en trois dimensions sur un écran, lesdits coefficients d'ondelettes étant pris en compte au fur et à mesure de leur arrivée ;
- affichage d'objets maillés en trois dimensions sur un écran à au

15

moins deux niveaux de détail, un niveau de détail correspondant à un desdits maillages successifs (M_i) ;

- affichage de parties différentes d'un objet maillé avec au moins deux niveaux de détail différents ;
- 5 - compression d'un maillage d'un objet maillé.

This Page Blank (uspto)

1/2

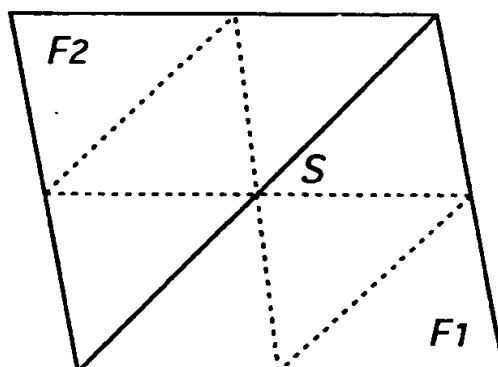


Fig. 1

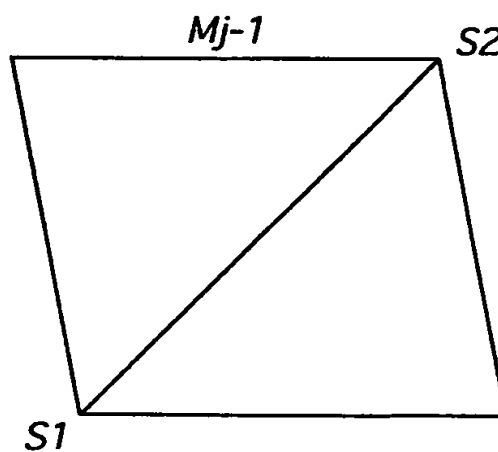
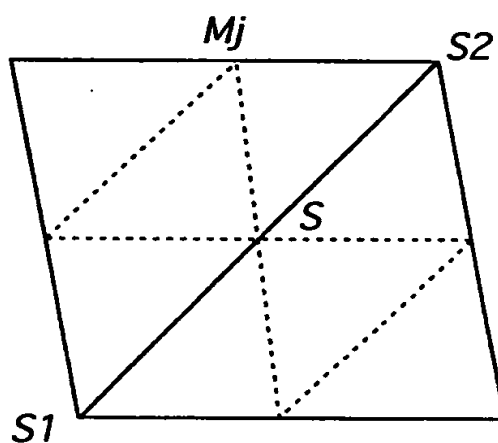


Fig. 2

This Page Blank (uspto)

2/2

Fig. 3

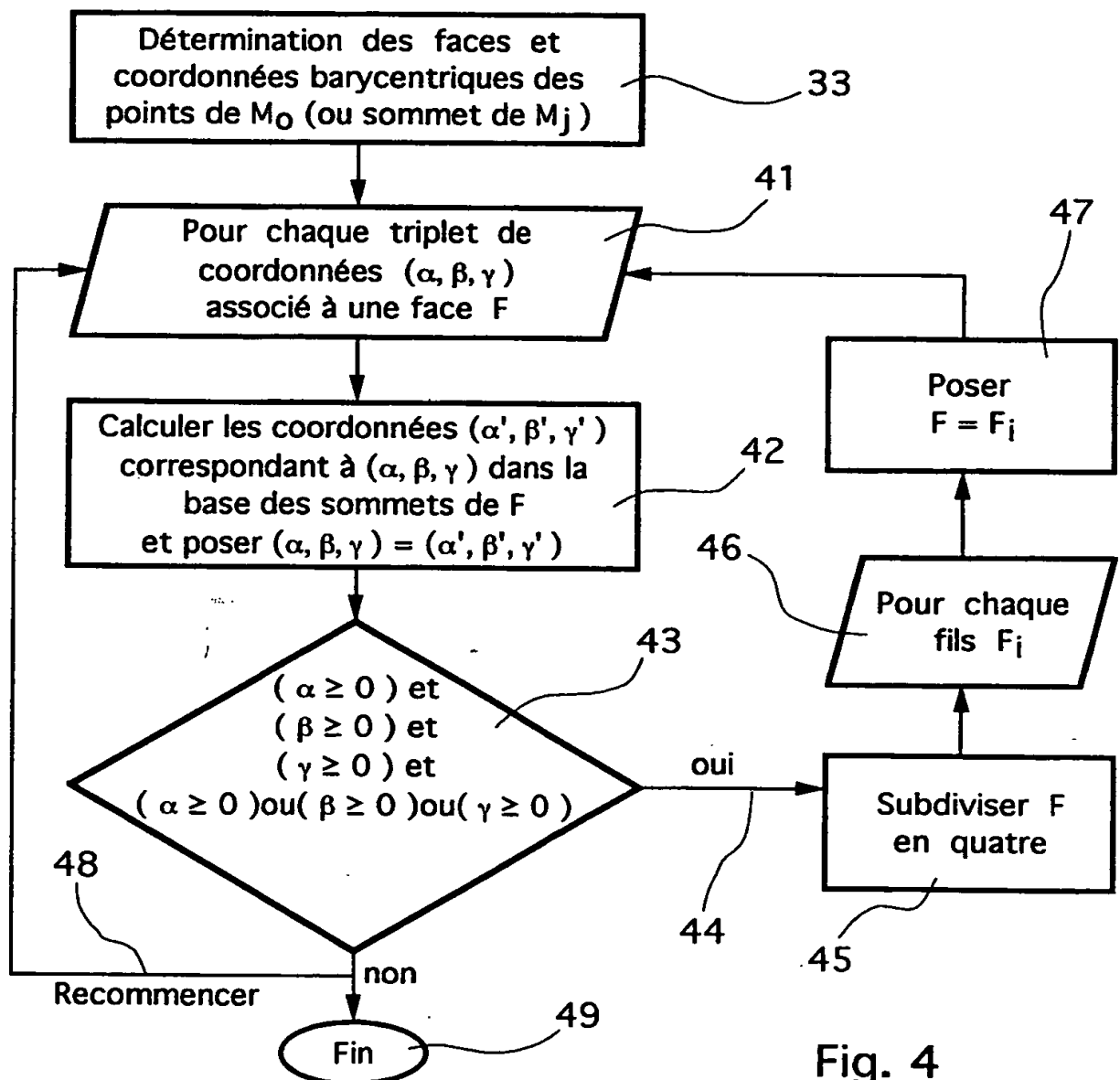
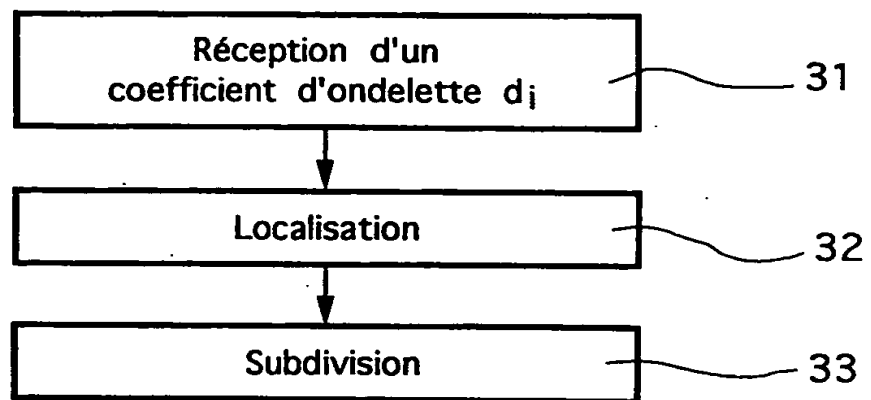


Fig. 4

This Page Blank (uspto)

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No.

PCT/FR 99/01924

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

IPC 7 G06T17/20

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

IPC 7 G06T

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	EP 0 789 330 A (MICROSOFT CORP) 13 August 1997 (1997-08-13) claim 1	1-8
Y	ECK M ET AL: "MULTIRESOLUTION ANALYSIS OF ARBITRARY MESHES" COMPUTER GRAPHICS PROCEEDINGS, LOS ANGELES, AUG. 6 - 11, 1995, 6 August 1995 (1995-08-06), pages 173-182, XP000546226 COOK R page 173, left-hand column, last paragraph -right-hand column, paragraph 1 page 175, left-hand column, paragraph 5 - paragraph 7 -/--	1-8

☒ Further documents are listed in the continuation of box C.

☒ Patent family members are listed in annex.

* Special categories of cited documents:

- "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- "E" earlier document but published on or after the international filing date
- "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

- "T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
- "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
- "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.
- "&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

20 September 1999

Date of mailing of the international search report

29/09/1999

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040. Tx. 31 651 epo nl.
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Pierfederici, A

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No

PCT/FR 99/01924

C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	<p>GROSS M H ET AL: "EFFICIENT TRIANGULAR SURFACE APPROXIMATIONS USING WAVELETS AND QUADTREE DATA STRUCTURES"</p> <p>IEEE TRANSACTIONS ON VISUALIZATION AND COMPUTER GRAPHICS,</p> <p>vol. 2, no. 2, June 1996 (1996-06), pages 130-143, XP000637707</p> <p>page 131, left-hand column, paragraph 3 -right-hand column, paragraph 1</p> <p style="text-align: center;">---</p>	1-8
A	<p>CIGNONI P ET AL: "A comparison of mesh simplification algorithms"</p> <p>COMPUTERS AND GRAPHICS,</p> <p>vol. 22, no. 1,</p> <p>25 February 1998 (1998-02-25), page 37-54</p> <p>XP004123425</p> <p style="text-align: center;">---</p>	
A	<p>BRUNET P: "Including shape handles in recursive subdivision surfaces"</p> <p>COMPUTER AIDED GEOMETRIC DESIGN,</p> <p>vol. 5, no. 1, 1988, pages 41-50,</p> <p>XP002085289</p> <p style="text-align: center;">-----</p>	

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International Application No

PCT/FR 99/01924

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
EP 0789330 A	13-08-1997	CA 2194833 A	11-07-1997
		CA 2194834 A	12-07-1997
		CA 2194835 A	11-07-1997
		CA 2194836 A	11-07-1997
		EP 0789329 A	13-08-1997
		EP 0784295 A	16-07-1997
		EP 0788072 A	06-08-1997
		JP 9198524 A	31-07-1997
		US 5929860 A	27-07-1999

This Page Blank (uspto)

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

D-... Internationale No

PCT/FR 99/01924

A. CLASSEMENT DE L'OBJET DE LA DEMANDE
CIB 7 G06T17/20

Selon la classification internationale des brevets (CIB) ou à la fois selon la classification nationale et la CIB

B. DOMAINES SUR LESQUELS LA RECHERCHE A PORTE

Documentation minimale consultée (système de classification suivi des symboles de classement)
CIB 7 G06T

Documentation consultée autre que la documentation minimale dans la mesure où ces documents relèvent des domaines sur lesquels a porté la recherche

Base de données électronique consultée au cours de la recherche internationale (nom de la base de données, et si réalisable, termes de recherche utilisés)

C. DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS

Catégorie	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
X	EP 0 789 330 A (MICROSOFT CORP) 13 août 1997 (1997-08-13) revendication 1 ---	1-8
Y	ECK M ET AL: "MULTIRESOLUTION ANALYSIS OF ARBITRARY MESHES" COMPUTER GRAPHICS PROCEEDINGS, LOS ANGELES, AUG. 6 - 11, 1995, 6 août 1995 (1995-08-06), pages 173-182, XP000546226 COOK R page 173, colonne de gauche, dernier alinéa -colonne de droite, alinéa 1 page 175, colonne de gauche, alinéa 5 - alinéa 7 --- -/--	1-8

☒ Voir la suite du cadre C pour la fin de la liste des documents

☒ Les documents de familles de brevets sont indiqués en annexe

* Catégories spéciales de documents cités:

- "A" document définissant l'état général de la technique, non considéré comme particulièrement pertinent
- "E" document antérieur, mais publié à la date de dépôt international ou après cette date
- "L" document pouvant jeter un doute sur une revendication de priorité ou cite pour déterminer la date de publication d'une autre citation ou pour une raison spéciale (telle qu'indiquée)
- "O" document se référant à une divulgation orale, à un usage, à une exposition ou tous autres moyens
- "P" document publié avant la date de dépôt international, mais postérieurement à la date de priorité revendiquée

- "T" document ultérieur publié après la date de dépôt international ou la date de priorité et n'appartenant pas à l'état de la technique pertinent, mais cite pour comprendre le principe ou la théorie constituant la base de l'invention
- "X" document particulièrement pertinent: l'invention revendiquée ne peut être considérée comme nouvelle ou comme impliquant une activité inventive par rapport au document considéré isolément
- "Y" document particulièrement pertinent: l'invention revendiquée ne peut être considérée comme impliquant une activité inventive lorsque le document est associé à un ou plusieurs autres documents de même nature, cette combinaison étant évidente pour une personne du métier
- "&" document qui fait partie de la même famille de brevets

Date à laquelle la recherche internationale a été effectivement achevée

20 septembre 1999

Date d'expédition du présent rapport de recherche internationale

29/09/1999

Nom et adresse postale de l'administration chargée de la recherche internationale
Office Européen des Brevets, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl.
Fax: (+31-70) 340-3016

Fonctionnaire autorisé

Pierfederici, A

C.(suite) DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS

Catégorie	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
Y	GROSS M H ET AL: "EFFICIENT TRIANGULAR SURFACE APPROXIMATIONS USING WAVELETS AND QUADTREE DATA STRUCTURES" IEEE TRANSACTIONS ON VISUALIZATION AND COMPUTER GRAPHICS, vol. 2, no. 2, juin 1996 (1996-06), pages 130-143, XP000637707 page 131, colonne de gauche, alinéa 3 -colonne de droite, alinéa 1 ----	1-8
A	CIGNONI P ET AL: "A comparison of mesh simplification algorithms" COMPUTERS AND GRAPHICS, vol. 22, no. 1, 25 février 1998 (1998-02-25), page 37-54 XP004123425 ----	
A	BRUNET P: "Including shape handles in recursive subdivision surfaces" COMPUTER AIDED GEOMETRIC DESIGN, vol. 5, no. 1, 1988, pages 41-50, XP002085289 -----	

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Renseignements relatifs aux membres de familles de brevets

Demande internationale No

PCT/FR 99/01924

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
EP 0789330 A	13-08-1997	CA 2194833 A	11-07-1997
		CA 2194834 A	12-07-1997
		CA 2194835 A	11-07-1997
		CA 2194836 A	11-07-1997
		EP 0789329 A	13-08-1997
		EP 0784295 A	16-07-1997
		EP 0788072 A	06-08-1997
		JP 9198524 A	31-07-1997
		US 5929860 A	27-07-1999

This Page Blank (uspto)